

大豆用点播機のくり出し特性

永田雅輝*・岡田芳一*・石川勝美*

Delivery Property of Planter for Soybeans

Masateru NAGATA*, Yoshiichi OKADA*, Katsumi ISHIKAWA*

(1979年8月6日受理)

I 緒 言

水田利用再編対策に伴って大豆が特定作物として取上げられたことから、各研究機関では従来の作業技術の見通しがなされており、その改善や機械化の確立が急がれている^{1),2),4),5)}。転作大豆は省力多収が前提となるであろうから、作業技術のポイントの一つは収量目標に見合せた苗立本数が確保されるような播種作業の遂行がなされることであり、そのためには精度の高い播種機の開発が必要となる。

一般に、大豆の播種様式は点播で、1株当りの苗立本数が1~2本である^{3),4),5)}ことから、機械化播種では適正な播種粒数が得られて、間引や補植作業などの余分な労力負担が加わらないような播種機が要望される。

そこで、現在大豆播種に使用されている市販播種機が上記の点をも含めて、くり出し粒数及び点播間隔の均一性並びに1株の密集性などの点播機の機能条件⁷⁾であるくり出し特性をどの程度具備しているかについて検討を行なった。その結果、今後の播種機の利用上並びに開発研究上に供し得る知見を得たので報告する。

II 試験機の構造および実験方法

1 試験機の構造

試験にはくり出し機構の異なる次の二機種の点播機を用いた。

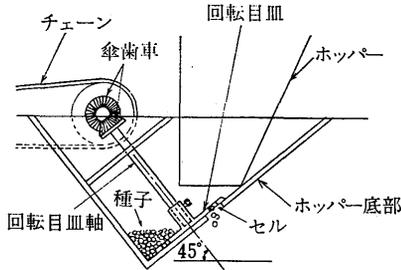
(1) 回転目皿式 (S社製 HS型)

本方式は第1図のように、回転軸が45°傾斜した回転目皿を有し、目皿のセルに進入した種子は、上方で排出される構造である。回転目皿は、直径36cmの駆動輪からチェーンで伝動される。仕様は、機体寸法が1600(全長)×500(全幅)×1050mm(全高)、重量が15kgである。

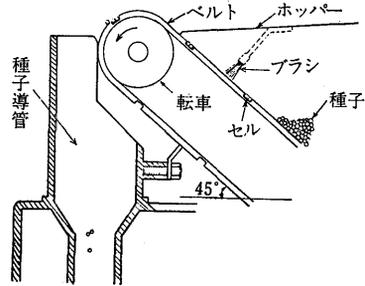
(2) ベルト式 (M社製 HS-300型)

第2図に示すように、種子くり出しにベルトを使用する構造である。ベルトは水平面と45°の傾斜をもって上方へ移動する。ベルトの駆動は、直径18cmの駆動輪からシャフトで伝達される。ベルト

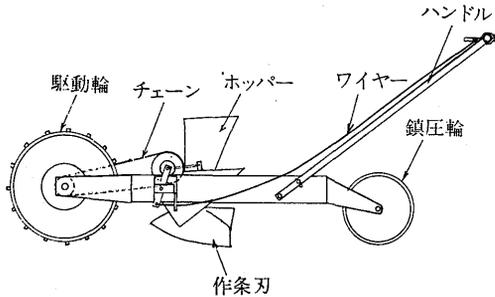
* 農業機械学講座



(a) くり出し部の機構図

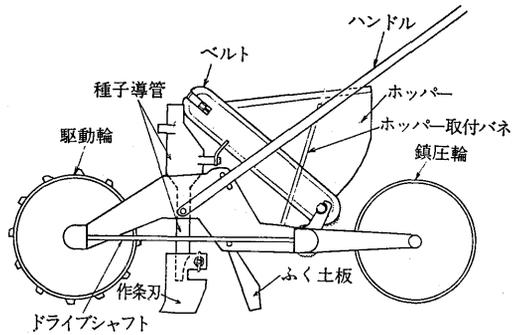


(a) くり出し部の機構図



(b) 全体の構造図

第1図 回転目皿式点播機



(b) 全体の構造図

第2図 ベルト式点播機

は合成樹脂製のリンクベルトとゴム製のエンドレスベルトがあり、種子によって交換する。仕様は、機体寸法が 710×170×1000mm、重量が 6.5kg である。

(3) 試験機の理論点播間隔

第3図において、点播機の進行速度を v 、点播間隔を ds とすると、点播時間 t_1 は、 $t_1 = v/ds$ 、一方、くり出し機構におけるセル移動速度を v' 、セル間隔を l とすると、種子くり出し時間 t_2 は、 $t_2 = v'/l$ 、この t_1 および t_2 は同一時間であるので、 $t_1 = t_2$ より

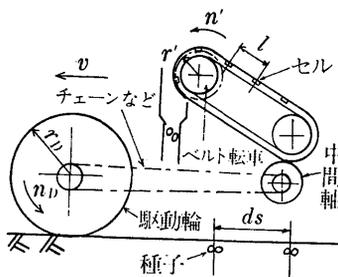
$$ds = \frac{lv}{v'} \tag{1}$$

ここで、セル回転数と v' との関係は、 r' を回転目皿式での回転目皿軸中心（ベルト式ではベルト車回転軸中心）からセル中心までの半径、 n' を回転目皿およびベルト車の回転数とすれば

$$v' = \frac{2\pi r' n'}{60} \tag{2}$$

よって、(1)、(2) 式より ds と v との関係は

$$ds = \frac{60 \cdot l}{2\pi r' n'} v \tag{3}$$



第3図 駆動方式と点播間隔

ここで、セル数を m とすると

$$m = \frac{2\pi r'}{l} \quad (4)$$

この式はベルト式でも成り立つ。(4) を (3) に代入して

$$ds = \frac{60}{mm'} v \quad (5)$$

次に、駆動輪と v との関係は、 r_D を駆動輪半径、 n_D を駆動輪回転数とすると

$$v = \frac{2\pi r_D n_D}{60} \quad (6)$$

よって、(6) を (3) に代入して

$$ds = 2\pi \frac{l}{2\pi r'} \cdot \frac{n_D}{n'} \cdot r_D$$

上式で $n'/n_D = \eta$ として、 η を回転比で表わして整理すると

$$ds = \frac{2\pi r_D}{m \cdot \eta} \quad (7)$$

すなわち、試験機のような駆動方式では、 ds は播種速度の遅速に関係なく一定となる。ただし、実際には駆動輪のスリップ率や落下時の種子挙動（例えば、排出遅れ、種子導管衝突など）の影響を考慮する必要がある。

2. 実験方法

実験は、種子・セル・播種速度の3要因を組合せて、回転目皿式では14試験区、ベルト式では12試験区（いずれも1試験区の長さは10m×3条）を設定した。試験機の使用は通常の播種作業に準じたが、測定が容易なように、ふく土板だけを取り除いた。

種子は、黄色秋大豆、アオガリ大豆と落花生（千葉半立）としたが、落花生は補足的に供試した。各種子の形状を第1表に示す。

セルは試験機の附属品を使用した。第2表に各セルの形状と実験時の種子との組合せを示す。

第1表 種子の形状

() は標準偏差 σ

種 類	長 径 mm	短 径 mm	高 さ mm	1 粒 重 g
黄色秋大豆	8.10(0.58)	6.67(0.58)	5.61(0.47)	0.178
アオガリ大豆	6.51(0.48)	5.60(0.33)	4.48(0.45)	0.094
落花生	12.87(1.74)	8.45(0.91)	7.36(1.02)	0.408

第2表 セルの形状

供 試 機	セル形状	セルの寸法	供 試 種 子
回転目皿式	円 形	直径 12mm, 深さ 4mm 10mm, 4mm 9mm, 4mm	大豆, 落花生 大豆 大豆
ベルト式	リ ン ク	横26×縦13×深8mm 20×10×7mm	落花生 大豆, 落花生
	エンドレス	円 形	直径 8mm, 深さ 3mm

播種速度は、H(0.75~0.80m/s) と L(0.55~0.60m/s) とした。

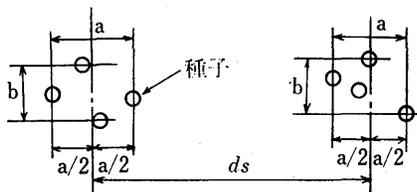
試験圃場は、本大学学内農場(畑, 壤土)で、実験前にロータリ耕うん機で耕うん整地した。実験時の土壌硬度は 0.27kg/cm², 土壌水分は19%であった。

3. 測定項目と方法

(1) 1株当りのくり出し粒数

1株ごとに播種された種子を計数した。

(2) 点播幅と点播間隔



第4図のように、点播幅は1株ごとの種子の広がり進行方向の最大幅 a およびそれと直角方向の最大幅 b について測定し、 $a-b$ の形で表示した。

点播間隔 ds は、株の中心 ($a/2$) を基準として株間の長さで表わした。

(3) くり出し欠損率

種子が所定のセルから排出されなかった時は、くり出し欠損が生じる。この場合には、点播間隔が異常に長くなるので、欠損箇所は容易に見い出される。欠損率 l_d は次式で求めた。ただし、 L_s は欠損個所の数、 T_s は点播個所の総数とする。

$$l_d = \frac{L_s}{T_s} \times 100(\%) \quad (8)$$

(4) 駆動輪のスリップ率

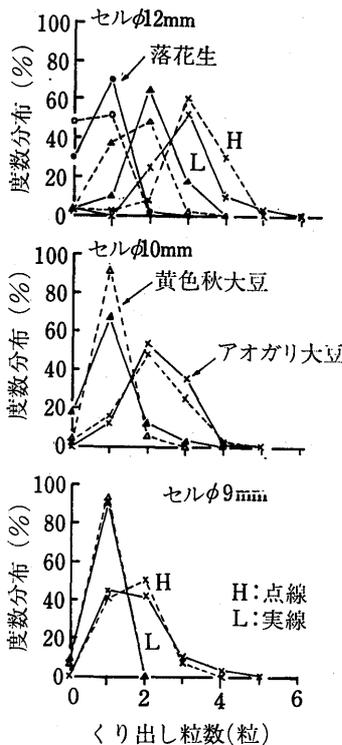
スリップ率 S_r は、駆動輪の有効半径から求めた5回転の進行距離 S_0 と播種時の5回転距離 S' とから次式で求めた。

$$S_r = \frac{S' - S_0}{S_0} \times 100(\%) \quad (9)$$

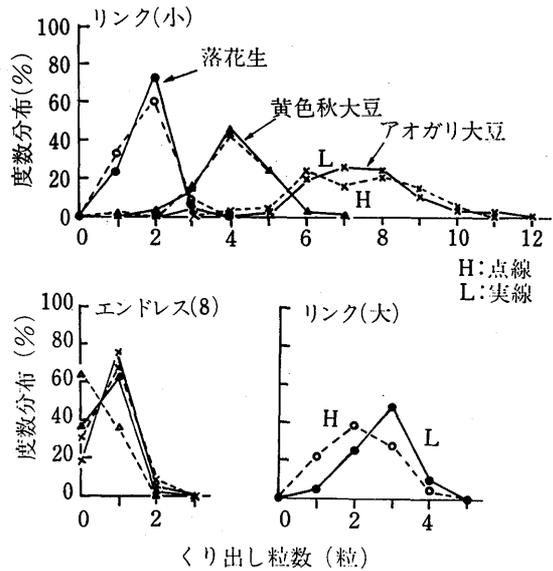
III 実験結果および考察

1. 1株当りのくり出し粒数

回転目皿式の1セルからの種子くり出し粒数は、第5図のように、セルおよび種子の形状によって差違が認められ、当然ながらセル形状が大きい時にはくり出し粒数は多く、小さい時には少なくなった。セル径が小さくなるにつれて1粒ずつ減少した。播種速度の影響(この場合はセルの周速度ともいえる)は余り認められなかった。本機で1~2粒を点播する種子とセルの組合せは、黄色秋大豆ではセル直径12mm, アオガリ大豆では9mmがよいといえる。なお、セル12mmにおいて落花生種子のくり出し粒数に欠損が多かったのは、セルより大きい種子が含まれていたためである。欠損につ



第5図 回転目皿式における1株当りのくり出し粒数



第6図 ベルト式における1株当りのくり出し粒数

いての詳細は後述する。

ベルト式の測定結果は、第6図に示すように、大豆種子とリンクベルトでは過剰なくり出しとなり、逆にエンドレスベルトでは欠損が多かった。このことは、前者では間引作業を、後者でな補植作業を余分に行なわなければならないことを示し、良好な組合せとはいえない。くり出し粒数のひん度はH、Lとも大差ないが、ベルト移動速度は遅い方がくり出し粒数の安定度は高いといえる。

次に、くり出し粒数とそのバラツキについてみると、第3表のようにバラツキは平均的なくり出し粒数が多い時には大きく、逆に少ない時には小さくなった。なお、このくり出し粒数が少ない場合には、欠損率が大きくなった。

このように、セルでのくり出し粒数には、平均値からのバラツキがあるので、バラツキを小さくすることが均一な粒数を得ることにつながる。

第3表 1株当りの平均的なくり出し粒数*とそのバラツキ

供試機	回転目皿式						ベルト式					
	セル形状 12mm		セル形状 10mm		セル形状 9mm		リンク(大)		リンク(小)		エンドレス	
播種速度	H	L	H	L	H	L	H	L	H	L	H	L
黄色秋大豆	2 0.52	2 0.57	1 0.23	1 0.41	1 0.27	1 0.26	—	—	4 0.81	4 0.76	0 0.48	1 0.48
アオガリ大豆	3 0.68	3 0.79	2 0.72	2 0.67	2 0.62	2 0.73	—	—	7 1.56	7 1.41	1 0.46	1 0.40
落花生	1 0.50	1 0.46	—	—	—	—	2 0.85	3 0.73	2 0.59	2 0.53	—	—

備考) *「くり出しひん度の最も多い粒数」とする

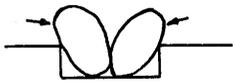
すなわち、1株当りのくり出し粒数が期待値となるには、種子に合ったセル形状を与えることである。しかし、種子形状にも平均値からのバラツキがあるので、最適なセル形状の決定は難しく、どうしてもある範囲をもつ統計的な期待値でしか得られない。

そこで、黄色秋大豆には 12mm のセル、アオガリ大豆には 9mm のセルが適していたことから判断して、大豆種子を楕円と考え、その投影面積とセル面積とを比較してみると、前者が 42.6mm^2 と 113mm^2 、後者が 28.6mm^2 と 63.6mm^2 であった。これより、1～2粒の大豆種子のくり出しには、種子とセルとの面積比を 1 : 2～3 にすればよいといえる。

2. セル内の種子の姿勢



(a) 二段積み



(b) はみ出し



(c) 割り込み

本実験において、リンクベルト (小) や 12mm セルの大豆にみられるように、種子とセルとの形状を比較して、明らかにくり出し粒数が多いと判断される場合 (逆に少なすぎる場合もある) が観察されたので、セル内の種子の姿勢について検討した。今回、観察された姿勢は、第7図のような3区分に整理できる。(a)の二段積みは種子が積み重なる場合、(b)のはみ出しは種子の一部がセルからはみ出している場合、(c)の割り込みは種子のすき間に種子が割込んで進入している場合である。リンクベルトでの多粒のくり出しは(a)に相当し、回転皿式での1～3粒のくり出しは(b),(c)に相当するものであった。

これらの種子は、不安定な姿勢でセル内にあるので、不必要な時はブラシなどで物理的に除去できるが、その際必要な種子がはじき出される危険もある。本実験ではブラシは使用しなかった。

矢印が不安定な種子を示す
第7図 不安定なセル
内種子の姿勢

3. 点播幅

第4表にベルト式の測定結果を示す。点播幅は進行方向の播き幅 a が問題である。測定値 a は 5～12cm と長く、特に播種速度が速く、粒数が多くなるほど長くなる傾向にあった。点播では、密集性が要求されるので、試験機の点播性能は低いとえる。

第4表 ベルト式における点播幅

* : 平均値, ** : 標準偏差

セル	速度	黄色秋大豆	アオガリ大豆
リンク (小)	H	^a ^b *12.0—1.9 (6.0—1.6)**	^a ^b 13.5—2.3 (6.8—1.4)
	L	10.0—1.6 (4.6—1.3)	12.5—2.4 (5.0—1.5)
エンドレス	H	6.3—0.8 (3.6—0.3)	7.3—1.3 (4.0—1.4)
	L	—	5.8—1.0 (2.4—0.8)

(備考) a : 進行方向の播き幅, b : a と直角方向の播き幅

単位 : cm

4. 点播間隔と駆動輪スリップ率

(1) 点播間隔

第5表のように、平均点播間隔は回転目皿式ではほぼ一定で、その変動も小さかったが、ベルト式では変動が大きかった。この原因は、くり出し方式の違いによるものではなく、機体重量、駆動輪の直径やラグ形状などの構造上の違いによるもので、次の駆動輪スリップと深く関係するものである。

第5表 点播間隔

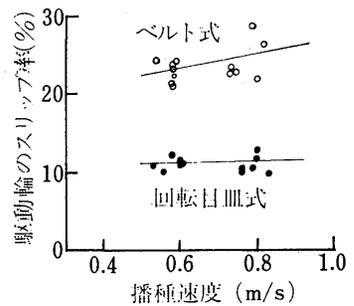
単位：cm

セ	ル	播種速度	黄色秋大豆	アオガリ大豆
回転目皿式	12mm	H	28.5*(4.2)**	29.6(2.5)
		L	29.4 (2.7)	29.8(2.1)
	10mm	H	29.6 (2.4)	29.7(2.0)
		L	29.9 (3.7)	29.5(2.2)
	9mm	H	29.9 (2.5)	29.0(2.9)
		L	29.9 (2.7)	29.4(2.3)
ベルト式	リンク	H	34.5 (4.5)	33.5(3.7)
		L	34.1 (4.9)	34.6(3.8)
	エンドレス	H	28.2 (5.7)	26.4(5.2)
		L	26.5 (6.2)	25.1(5.6)

* 平均値, ** 標準偏差

(2) 駆動輪スリップ率

第8図のように、スリップ率は回転目皿式がベルト式より小さかった。試験機のような駆動方式では、駆動輪のスリップはまぬがれないので、多少のスリップは認めても、その変動が小さければ点播間隔に与える影響は軽減できる。そこで、この観点から点播間隔について検討すると、回転目皿式では、スリップ率が速度に関係なく一定だったことが点播間隔を安定した原因で、またベルト式では、速度によりスリップ率が変動したことが、不安定にした原因といえる。



第8図 駆動輪のスリップ率

(3) スリップを考慮した点播間隔の計算

点播間隔の計算は、(7)式より誘導できる。本式に駆動輪のスリップ S_r を加味した時（ただし、種子は同一条件で土中へ落下すると考える）の点播間隔 ds は次式で求められる。

$$ds = \frac{2\pi r_D}{m\eta} (1 + S_r) \tag{10}$$

上式に試験の条件値を用いて計算した値は、第6表のように実測値（第5表）とほぼ一致した。すなわち、点播間隔は駆動輪のスリップ分だけ長くなっていることがわかる。

第6表 理論点播間隔

単位: cm

セ	ル	播種速度	スリップを考慮した場合		スリップを考慮しない場合
			黄色秋大豆	アオガリ大豆	
回転目皿式	12mm	H	29.3	29.5	26.6
		L	29.5	29.5	
	10mm	H	29.4	29.8	
		L	29.6	29.8	
	9mm	H	30.0	29.7	
		L	29.5	29.6	
ベルト式	リンク(小)	H	34.9	34.7	28.3
		L	35.1	35.0	
	エンドレス	H	26.9	26.5	20.9
		L	25.8	26.0	

5. くり出し欠損

第7表のように、欠損率が特に高かったのは、エンドレスベルト(8mm)に対する大豆と回転目皿12mmに対する落花生の組合せであった。これらの主な原因としては次の三項目が考えられた。

①種子の一部がセルより大きい場合：この場合は、明らかに欠損が生じる。黄色秋大豆とエンドレスベルト(8mm)、落花生と目皿12mmの組合せをみると、前者では約45%の種子の長径が、後者では同じく75%の長径がセルより大きい寸法にあったことから、この方向でのセル進入率の減少が欠損となったものと思われる。

②セル内の種子が不安定な場合：種子はセルへ進入しているが、前項2の(b)、(c)の不安定な姿勢のために落ちこぼれる場合である。アオガリ大豆とエンドレスベルト(8mm)の組合せでは、種子径<セル径であったにもかかわらず、20~30%の欠損が生じたのはこの場合にあたる。

③外部作用力の影響：セル進入時の種子が周囲の種子ではじき出されたり、セル内の種子がブラシや振動で飛び出す現象である。ベルト式における欠損の一部はベルトの移動に伴う上下振動の影響を

第7表 くり出し欠損率

単位: %

種子	播種速度	回転目皿式			ベルト式		
		12mm	10mm	9mm	リンク(大)	リンク(小)	エンドレス
黄色秋大豆	H	3.9	4.0	8.1	—	0	64.2
	L	4.1	19.0	7.0	—	1.2	36.4
アオガリ大豆	H	1.1	2.1	1.0	—	0	30.5
	L	1.0	0	0	—	0	19.5
落花生	H	48.0	—	—	1.1	0.9	—
	L	30.0	—	—	0	0	—

受けた。

6. 傾斜したセル内での種子の安定

(1) 安定条件の一般式

試験機のくり出し機構は、いずれも45°の傾斜で種子を上方へ移動させる。そのため、前項5の②、③が原因で、種子は落ちこぼれやすい。このことは、セルの傾きやセル深さなどとの関係があるので、これらの要因を考慮した場合の傾斜したセル内種子の安定条件式を求めた。

いま、セル内の種子に作用する力を、第9図のように考える。種子は、すべらないとして、セル入口端のA点を中心に左側へ落下するとすれば、種子のつり合い限界条件は、A点周りのモーメント $M=0$ として、次式で求められる。

$$(F_1 + W\sin\theta)(r_s - d) + F_2\cos\alpha(h - d) + F_2\sin\alpha \cdot l_2 - W\cos\theta \cdot l_1 = 0 \quad (11)$$

F_1 = 種子に加わる慣性力

F_2 = ホッパー内種子やブラシなどによる外部力

W = 種子重量

θ = 傾斜角

r_s = 種子の重心高さ

l_1, l_2 = A点から力の作用線までの長さ

h = セル底面から F_2 の着力点までの長さ

d = セル深さ

上式をセル深さ d について整理すると

$$d = \frac{(F_1 + W\sin\theta)r_s + F_2\cos\alpha \cdot h + F_2\cos\alpha \cdot l_2 - W\cos\theta \cdot l_1}{F_1 + F_2\cos\alpha + W\sin\theta} \quad (12)$$

ここで、A点は種子の外形線の1点となるから、 d と l_1 には $l_1 = f(d)$ の関係式が成り立つ。大豆種子を楕円体（中心は重心 O ）として、その関係式を求めると、楕円方程式より

$$\frac{l_1^2}{a^2} + \frac{(r_s - d)^2}{r_s^2} = 1 \quad (13)$$

整理して

$$l_1 = a\sqrt{1 - \left(\frac{r_s - d}{r_s}\right)^2} > 0 \quad (14)$$

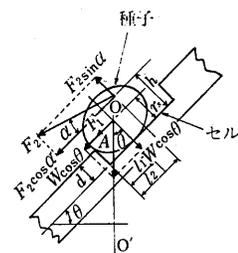
ただし、 $0 < d \leq r_s$ とする。

次に、セル深さの最小値 d_{min} を与える静止時について考える。この状態では、種子には重力以外の外部力は作用しないので、 $F_1 = F_2 = 0$ となる。よって (12) 式より d_{min} は

$$d_{min} = r_s - \frac{l_1}{\tan\theta} \quad (15)$$

(2) 試験機のセル深さ d における静止時の限界傾斜角 θ_{max}

試験機のセル深さは、ベルト式が 3mm、回転皿式が 4mm であった。この条件における種子の



第9図 傾斜したセル内の種子に作用する力

第8表 静止時の限界傾斜角およびセル深さの計算値

種 子	a	r_s	θ_{\max}		d_{\min}
			$d=3$	$d=4$	
黄色秋大豆	mm *4.05	mm 2.81	$>90^\circ$	$>90^\circ$	mm 0.50
	**2.81	4.05	68.8°	88.9°	1.74
アオガリ大豆	3.26	2.24	$>90^\circ$	$>90^\circ$	0.39
	2.24	3.26	83.4°	$>90^\circ$	1.41
落花生	6.41	3.68	83.8°	$>90^\circ$	0.49
	3.68	6.41	42.5°	5.5°	3.22

(備考) セル内の種子の姿勢は、上段(*)が種子の長軸を水平とする時、下段(**)が垂直とする時である。

静止時の θ_{\max} は、(15)式で $d_{\min}=d, \theta=\theta_{\max}$ として、各種子の r_s と d に対する l_1 を(14)式より求めて、両式から計算すると、第8表の計算値を得た。試験機の傾斜角 $\theta (=45^\circ)$ と比較すると、 $\theta < \theta_{\max}$ であった。

(3) 種子形状からみた静止時のセル深さ d_{\min}

第9図で、種子が落下しないためのセル深さの最小値は、種子重心 O から下した垂線 OO' 上に A 点がある時である。 $F_1=F_2=0$ の静止時のセル深さ d_{\min} は、(13)式で $d=d_{\min}$ とし、また(15)式で $\theta=45^\circ$ として、両式から l_1 を消去し d_{\min} について整理すると

$$d_{\min}=r_s \left(1 - a \sqrt{\frac{1}{a^2 + r_s^2}} \right) \quad (16)$$

よって、この d_{\min} について種子形状を前項と同様にして計算すると、第8表のような数値を得た。 d_{\min} は試験機の $d(=3, 4)$ よりかなり小さな値であった。

播種時は、多少の F_1 や F_2 などの外力が作用するので、セル深さ d は、 $d \gg d_{\min}$ が望ましい。今回の実験では、 F_1 や F_2 の測定ができなかったので、(12)式から適切なセル深さを見出すに致らなかった。実験結果からは、 d は 3mm より 4mm の深い方が欠損が少なかったことなどから、一応の目安として、 $r_s < d < 2r_s$ が妥当と思われる。

7. 今後の問題点

1株の苗立本数が1~2本仕立とされる作物においては、間引作業の省力化を考えると、なるべく播種粒数は少な目がよい。しかし、少な過ぎると不発芽により欠株が生じた場合に余分な補植作業が加わりかねない。この点から、播種粒数は発芽率を考慮した上で、間引作業や補植作業が最小となるように決定することである⁶⁾。

今回の実験でもわかるように、セルによるくり出し機構では、種子は必ずある範囲の粒数でくり出されるので、平均3粒と言っても、1~2粒もあれば、4~5粒もある。そのため、多いところでは間引作業を、少ないところでは補植作業を余分に行なわねばならなくなることから、今後は所定の粒数が均一にしかも正確にくり出される機構の点播機が望まれることになる。著者らは、これらの問題の解決を目指して、振動を利用した新しいくり出し機構をもつ播種機について研究を進めている。

Ⅳ 摘 要

大豆種子に対する市販播種機のくり出し特性について検討した。

(1)供試したくり出し方式は、回転皿式とベルト式である。

(2)1株当りのくり出し粒数は、セル形状の影響を受けた。くり出し粒数が少ない時には、粒数のバラツキは小さかったが、粒数が多くなると、バラツキも大きくなった。平均2粒の大豆がくり出された時のセルと種子の面積比は1:2~3であった。

(3)点播間隔は駆動輪のスリップに影響された。

(4)点播幅は、5~12cm(ベルト式)であり、バラツキが多く点播性能は低かった。

(5)くり出し欠損は、くり出し粒数が少ない時に多かった。欠損の主な原因は、①種子の一部がセルより大きい時、②セル内の種子が不安定な時、③外部力の作用などであった。

本実験は当研究室専攻生財津康夫君の協力を得た。記して感謝する。

参 考 文 献

- 1) 坂本 尙, 大豆作機械化の問題点, 農機誌, **41**, 148~149 (1979)
- 2) 我妻幸雄, 大豆作機械化と作業改善, 農作業研究, **35**, 95~97, (1979)
- 3) 宮崎県, 水田利用再編対策技術資料, 21~23, (1978)
- 4) 深見干城, 転作大豆栽培の実態と改善方向, 農業技術, **34**, 207~212 (1979)
- 5) 鎗水寿他, たばこ・大豆の結合による大豆栽培法, 農業技術, **33**, 342~346 (1978)
- 6) 村田敏, てん菜の機械間引に関する理論的研究, 農機誌, **26**, 105~110 (1964)
- 7) R.A. Kepner etc, PRINCIPLES OF FARM MACHINERY, THE AVI PUBLISHING COMPANY, INC., 201 (1972)

Summary

This report dealt with the delivery property of planters for soybeans on the market.

(1) The seed-metering devices of the seed plate type and the belt type were tested.

(2) The number of the delivery seeds per a group of seeds was under the influence of the cell size. The scattering of the delivery seeds was small in the case of a few seeds and was large in the case of a good many seeds. When two grains of soybeans were delivered on the average, the area of the cell and soybeans was in the ratio 1 : 2 or 3.

(3) The spacing of the hill dropping was effected by the slip of the drive wheel. The spacing of the hill dropping in cluded the slip was calculated by the formula (12).

(4) The hill dropping width was 5 to 12cm with the belt type. The performance of it was low.

(5) The loss of the seed-metering device was large in a few delivery seeds. The causes for the loss were shown in the following points;

1. Some of seeds were larger than the cell size.

2. The seeds in the cell was the unstable condition.
3. External forces worked on the seeds in the cell.